

# 秸秆覆盖对黄土坡面矿质氮素径流流失的影响<sup>X</sup>

张亚丽<sup>1</sup>, 张兴昌<sup>1,2</sup>, 邵明安<sup>1,2</sup>, 李世清<sup>1,2</sup>

(1. 中国科学院水利部水土保持研究所, 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西 杨陵 712100;  
2. 西北农林科技大学, 陕西 杨陵 712100)

**摘要:** 利用室内模拟降雨试验, 研究了秸秆覆盖对坡面土壤矿质氮素径流流失和入渗的影响。结果表明: 秸秆覆盖可使侵蚀量显著减少, 减沙效应十分明显。由于秸秆覆盖使坡面径流流速减弱, 增加了表层土壤与地表径流的作用强度, 使溶解和解吸于径流中的矿质氮素含量增加, 但由径流显著减少, 矿质氮流失总量仍减少。与裸地相比, 秸秆覆盖可显著地增加土壤水分和硝态氮的入渗深度和入渗量。

**关键词:** 秸秆覆盖; 矿质氮素; 径流流失

**中图分类号:** S157.1; S158.3      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1009-2242(2004)01-0085-04

## Impact of Straw Cover on Mineral Nitrogen Loss by Runoff on Loess Slope

ZHANG Ya-li<sup>1</sup>, ZHANG Xing-chang<sup>1,2</sup>, SHAO Ming-an<sup>1,2</sup>, LI Shi-qing<sup>1,2</sup>

(1. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, State Key Lab. of Soil Erosion and Dryland Farming on Loess Plateau, Yangling, Shaanxi 712100;  
2. Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100)

**Abstract:** According to the result of simulated runoff experiment in laboratory, the impact of the mineral nitrogen transport with surface runoff and leaching are analyzed. It is validated that the straw coverage can greatly decrease soil erosion and reduce the velocity of flow on the loess slope. Therefore, the interaction between soil nitrogen and runoff is prolonged, which lead to more mineral nitrogen to be dissolved by runoff. However, the total amount of the mineral nitrogen loss by runoff is reduced. Compared with the result of bare land, the straw cover can be concluded that the infiltrative depths and amount of water and soil nitrate are added.

**Key words:** straw cover; mineral N; N loss by runoff

水土流失导致水土资源严重破坏, 土壤养分大量流失, 尤其在黄土高原地区已成为制约当地经济发展的瓶颈。由于研究手段和条件的限制, 一些研究<sup>[1~6]</sup>从不同深度研究了影响土壤和养分流失的因素(降雨、地形地貌、土壤和耕作方式等)及其相互作用的机理, 建立了预测土壤流失和养分流失模型。坡面径流是黄土区坡面水土流失、土壤营养元素流失的载体, 因此以坡面土壤养分与径流作用为研究对象, 对探讨黄土区土壤侵蚀和养分流失机理具有重要的意义。

土壤氮素流失过程实质是表层土壤与降雨、径流的相互作用过程<sup>[7]</sup>, 表现为两种形式: 其一在降雨条件下, 当土壤入渗能力小于雨强时, 产生地表径流, 可溶性物质随地表径流迁移; 其二是土壤内部的可溶性物质随入渗的水分沿垂直方向迁移<sup>[8]</sup>。降雨和径流是土壤养分流失的主要动力, 土壤是作用的界面和溶质迁移的“母体”, 而地形地貌、作物覆盖和耕作方式等又从不同方面、不同程度地影响到这一作用过程。在黄土区, 秸秆残茬覆盖是一项有效的水土保持措施, 其原因在于它能够保护地面免受雨滴直接打击, 调节地表径流, 增加土壤入渗时间, 消减径流动能, 加强土壤渗透性和抗冲性等。本文通过人工模拟降雨条件下, 研究麦秸覆盖对土壤矿质氮素径流流失的影响, 旨在揭示土壤矿质氮素与径流的作用机理, 为坡面非点源污染防治提供科学依据。

## 1 研究方法

### 1.1 供试材料

模拟降雨试验于 2003 年 3~8 月在黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室模拟降雨大厅进行, 采

表 1 供试土壤机械组成与质地特征

土壤	土壤机械组成(%)			质地
	1~0.05mm	0.05~0.01mm	< 0.01mm	
I	48.7	4.2	1.0	粉壤土
II	52.7	4.4	1.0	粉壤土

X 收稿日期: 2003-08-01

基金项目: 国家自然科学基金项目(40171063、40371076)和黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室基金项目(10501-106)

作者简介: 张亚丽, 女, 生于 1976 年, 在读硕士。主要从事土壤环境和水土保持方面的研究工作。

用侧喷式自动模拟降雨系统,喷头高度 16 m,雨滴降落终速可达到自然雨滴降落速度的 98% 以上<sup>[9]</sup>。土槽为长×宽×高= 3.8 m×0.3 m×0.6 m 的坡度可调式钢槽,下端设集流装置,可定时采集径流样。所用土壤均为黄绵土,采自陕西省安塞县,质地为粉质壤土(表 1)。

## 1.2 试验设计

供试土壤过 5 mm 筛孔,装土时控制含水量 10% 左右,土壤容重维持在(1.25+ 0.05) g/cm<sup>3</sup>。降雨雨强设定为 1.01 mm/min,降雨时间为 90 min,坡度 15°。试验处理为裸地(不施肥)、裸地(施 50 g NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>)、250 g 麦秸覆盖(不施肥)、250 g 麦秸覆盖(施 50 g NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>)和 500 g 麦秸覆盖(施 50 g NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>)。施肥方式:将 50 g NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> 溶于 1 L 清水中,用喷壶均匀喷在 9 kg 干土上,充分拌匀后铺在最上面 0.6 cm(保持土壤含水量 10%,容重 1.25 g/cm<sup>3</sup>),夯实并保持土面平整。之后在土壤表面均匀铺设一定量长约 5 cm 的洁净秸秆,喷少许水,使其均匀沉降。降雨前测定原始土壤养分含量,降雨结束后立即在槽内 5 个等分点处设置剖面,每 1 cm 垂直向下取土至土层湿润锋处,降雨结束 16 h 后沿槽内 6 个等分点用土钻每 5 cm 厚度取土,直至槽底。

## 1.3 样品分析

降雨过程中采集雨水样以备测定雨水养分含量,同时分不同径流时采集径流样,测定各泥水样的总体积,并取部分上层清液过滤后测定径流中矿质氮含量;剩余泥水样经过澄清、倾水后将泥沙风干称重,测泥沙中矿质氮含量。土壤和泥沙中矿质氮用 2 NKCl 溶液浸提(土水比为 1:5)。土样和水样中的硝态氮用紫外分光光度计法测定,铵态氮用连续流动分析仪测定。

# 2 结果与分析

## 2.1 秸秆覆盖、施肥对土壤侵蚀和矿质氮流失的影响

残茬覆盖使表层土壤有较强的抗冲性能,导致坡面集流时间滞后,减缓坡面径流流速,侵蚀量显著减少。由表 2 可知,在 15°的坡面上,与裸地相比,250 g 秸秆覆盖(219 g/m<sup>2</sup>)与 500 g 麦秸覆盖(439 g/m<sup>2</sup>)分别减少径流量 44.3% 和 61.5%,同时可减少泥沙量 95%~97%。

秸秆覆盖可明显延长产流开始时间和降雨后产流持续时间,在裸地对照试验中,这两个时段分别为 9 min 和 0.5 min;250 g 秸秆覆盖处理中,分别约为 36 min 和 1.25 min;500 g 麦秸覆盖处理中则达到了 50.5 min 和 1.8 min。

土壤氮素随地表径流和泥沙的流失过程表现为 3 种方式:① 土壤液相中的可溶性氮素在径流中的溶解;② 土壤颗粒吸附的矿质氮在径流中的解吸;③ 土壤颗粒中的氮素随产流在坡面传递和被水体携带<sup>[1]</sup>。秸秆覆盖可有效地减少坡面径流量和泥沙量,相应减少了径流和泥沙中的养分流失量。在不施肥处理中,250g 秸秆覆盖地表径流和泥沙中矿质氮流失量分别为裸地对照试验的 72.6% 和 2.7%。250 g 秸秆覆盖和裸地径流中矿质氮流失量比相应来自于降水中矿质氮分别增加 14.8 mg/m<sup>2</sup> 和 2.1 mg/m<sup>2</sup>,前者为后者的 7 倍,反映了秸秆覆盖增加了表层土壤矿质氮素与地表径流的作用强度,使溶解和解吸于单位径流中的矿质氮素含量增加。

在裸地处理中,施 50 g NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> 与不施肥处理相比,径流中矿质氮素增加 53.8 mg/m<sup>2</sup>,占肥料 N 的 0.4% (其中流失的硝态氮增加 46.4 mg/m<sup>2</sup>,占肥料硝态氮的 0.6%;流失的铵态氮增加 7.4 mg/m<sup>2</sup>,占肥料铵态氮的 0.1%);泥沙中矿质氮素增加 0.83 mg/m<sup>2</sup>,占肥料 N 的 0.0054% (其中流失的硝态氮增加 0.46 mg/m<sup>2</sup>,占肥料硝态氮的 0.006%;流失的铵态氮增加 0.37 mg/m<sup>2</sup>,占肥料铵态氮的 0.0048%)。这说明施肥使矿质氮流失量增加,且径流矿质氮流失量大于泥沙矿质氮流失量,硝态氮流失量大于铵态氮。施肥处理中,500 g 秸秆覆盖和 250 g 秸秆覆盖与裸地相比,径流中矿质氮素分别减少 134.3 mg/m<sup>2</sup> 和 90.7 mg/m<sup>2</sup>,分别占肥料 N 的 0.9% 和 0.6% (其中流失的硝态氮分别减少 120 mg/m<sup>2</sup> 和 77 mg/m<sup>2</sup>,分别占肥料硝态氮的 1.6% 和 1.0%;流失的铵态氮分别减少 14.3 mg/m<sup>2</sup> 和 13.6 mg/m<sup>2</sup>,均占肥料铵态氮的 0.2%);泥沙中矿质氮素分别减少 4.08 mg/m<sup>2</sup> 和 3.94 mg/m<sup>2</sup>,均占肥料 N 的 0.03% (其中流失的硝态氮分别减少 3.17 mg/m<sup>2</sup> 和 3.11 mg/m<sup>2</sup>,均占肥料硝态氮的 0.04%;流失的铵态氮分别减少 0.91 mg/m<sup>2</sup> 和 0.83 mg/m<sup>2</sup>,均占肥料铵态氮的 0.01%)。由此可知秸秆覆盖可显著减少肥料 N 的流失,且覆盖量愈大,保肥效果愈显著。而在等量秸秆覆盖处理中,施肥比不施肥处理矿质氮素流失量增加幅度并不很大。这归因于秸秆覆盖有一定的涵养水土作用,可显著减少径流和泥沙养分流失量,同时可有效地增加水分和养分的入渗量,即增加了施肥氮在土壤中的累积量。与供试土壤相比,泥沙中硝态氮和铵态氮含量都有所增加,尤其是铵态氮“富集率”达到 450% 以上。关于秸秆覆盖对泥沙养分富集率影响的研究还需深入进行。

表2 秸秆覆盖对土壤侵蚀量、养分流失量和泥沙富集率的影响

处理	施硝酸铵量 (g/m <sup>2</sup> )	秸秆覆盖量 (g/m <sup>2</sup> )	径流量 (ml)	径流中矿质氮流失量			雨水中矿质氮		泥沙量 (g)	泥沙中矿质氮流失			泥沙养分富集率		
				硝态氮 (mg/m <sup>2</sup> )	铵态氮 (mg/m <sup>2</sup> )	矿质氮 (mg/m <sup>2</sup> )	矿质氮 (mg/m <sup>2</sup> )	增量** (mg/m <sup>2</sup> )		硝态氮 (mg/m <sup>2</sup> )	铵态氮 (mg/m <sup>2</sup> )	矿质氮 (mg/m <sup>2</sup> )	硝态氮 (%)	铵态氮 (%)	矿质氮 (%)
I	0	0	22234	157.0	7.7	164.7	162.7	2.1	66.3	2.80	0.58	3.38	121	488	139
II	43.9	0	29200	203.4	15.1	218.5	186.0	32.5	74.9	3.26	0.95	4.21	138	4358	177
III	0	219	14426	117.4	2.0	119.5	104.7	14.8	2.4	0.09	0.03	0.09	106	1159	103
IV	43.9	219	14219	126.4	1.5	127.8	105.6	22.2	3.7	0.15	0.12	0.27	111	3784	194
V	43.9	439	9894	83.4	0.8	84.2	70.1	14.1	2.1	0.09	0.04	0.13	126	2630	178

注: \* 为所采径流中原雨水(非纯水)养分总量; \*\* 为所采径流与原雨水中矿质氮总量的差值,即从土壤中进入地表径流的矿质氮量。

## 2.2 秸秆覆盖和施肥对土壤养分入渗深度的影响

### 2.2.1 降雨结束后土壤剖面养分和水分分布

当土壤侵蚀发生时,土壤表层矿质氮素下渗并未停止,而随饱和水流沿土壤剖面向下迁移,农田氮素淋失以  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  为主<sup>[7]</sup>,主要受控于土壤水分的运动和  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  的浓度梯度。由图1~图3可知,秸秆覆盖可显著地增加土壤水分和养分的入渗深度和入渗量。降雨结束时,250 g 秸秆覆盖和 500 g 麦秸覆盖湿润锋深度与裸地处理相比分别增加了 9 cm 和 13 cm。土壤  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  的入渗与水分入渗并不完全同步,即浓度峰值并不位于湿润锋处,而是在土层 17~25 cm 深处,与裸地相比,秸秆覆盖试验中浓度峰值深度增加了约 8 cm。表层施肥后使硝态氮的入渗规律更为明显。在裸地处理中,峰值深度 17~18 cm 处施肥处理硝态氮的浓度是不施肥处理的 5.6 倍。在秸秆覆盖处理中,500 g 麦秸覆盖(施肥)和 250 g 麦秸覆盖(施肥)峰值深度 25~27 cm 处硝态氮峰值浓度分别是 250 g 麦秸覆盖(不施肥)的 2.1 倍和 1.4 倍。这反映一定量的秸秆覆盖可使硝态氮浓度在一定土层深度达到峰值,表施速效氮肥和增加秸秆覆盖量都可增加硝态氮峰值的浓度。在施肥处理中,500 g 秸秆覆盖处理和 250 g 麦秸覆盖(施肥)处理硝态氮峰值浓度低于裸地(施肥)处理,但前两者处理中硝态氮浓度峰值以下深度的硝态氮累计量明显大于后者。具体表现为裸地施肥处理中土壤硝态氮浓度在峰值深度急剧增加,在以下深度又迅速递减,而秸秆覆盖处理中土壤硝态氮浓度增至峰值后逐渐降低,曲线变化比较平缓。这表明秸秆覆盖在一定程度起到了缓冲剂作用,可有效地增加养分入渗量,减少土壤养分流失。

与  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  不同,土壤  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  几乎不发生淋溶损失,而主要溶解于径流和吸附于泥沙中。降雨结束后土壤  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  浓度峰值位于 1~4 cm 处,而 5~38 cm 深处浓度与原始土壤相比增幅很小。同时可知,在 1~4 cm 的表层土壤中,土壤  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  浓度峰值大小为:处理 2> 处理 5> 处理 4> 处理 3> 处理 1。这反映了秸秆覆盖并不能促进土壤铵态氮入渗,只是对其入渗浓度峰值急剧增加幅度略有弱化作用。

### 2.2.1 降雨结束 16h 后土壤矿质氮素和水分的再分布

当降雨结束后,地面水层逐渐消失,这些入渗的硝态氮在土壤剖面进行扩散、质流,一部分硝态氮随根系延伸并被作物根系吸收利用,一部分硝态氮淋溶到作物不能利用的深度,污染地下水源<sup>[7]</sup>。与降雨结束时结果相比,降雨结束 16h 后处理 1~5 硝态氮浓度峰值深度分别下移了 15, 13, 20, 20, 21 cm(图4)。秸秆覆盖处理与裸地处理相比,硝态氮峰值深度下降较大,可能是秸秆覆盖影响了土壤水分的蒸散发,进而促进了土层中水分和养分向深层的再分布,具体原因尚待深究。土壤  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  浓度峰值深度几乎无任何变化,只是峰

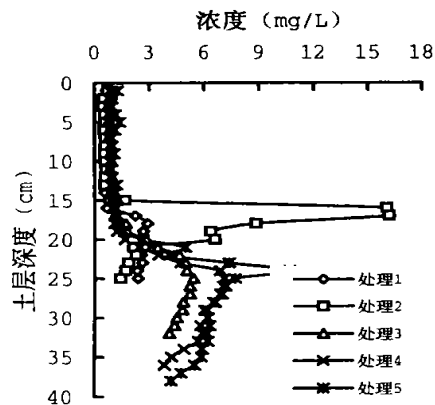


图1 土壤硝态氮剖面分布

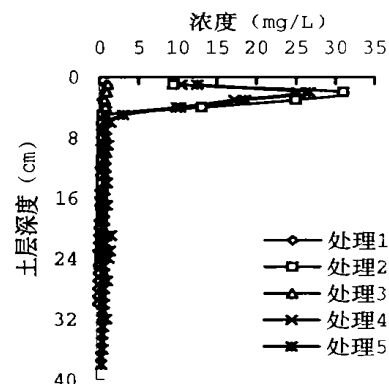


图2 土壤铵态氮剖面分布

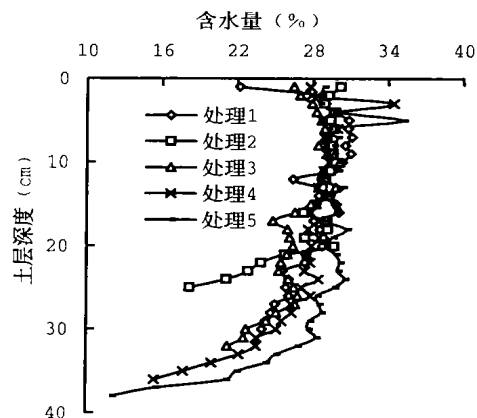


图3 土壤剖面水分分布

值以下深度土层浓度略有增加(图 5)。

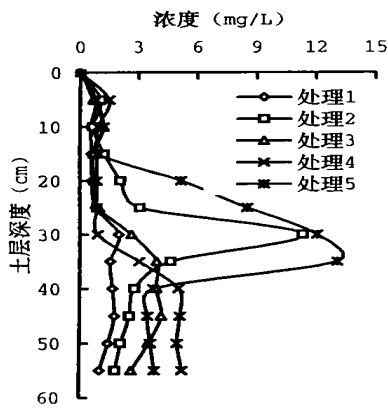


图 4 降雨 16h 后土壤剖面硝态氮分布

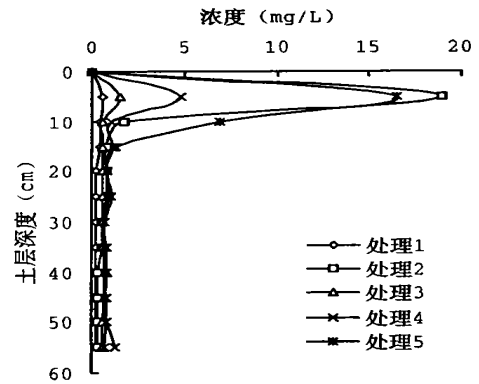


图 5 降雨 16h 后土壤剖面铵态氮分布

### 3 结 论

综上所述, 秸秆覆盖对土壤侵蚀过程中随径流和泥沙流失的矿质氮素有着双重影响: 其一可使侵蚀量显著减少, 尤其减沙效应十分明显, 相应也减少了径流和泥沙中的养分流失量; 其二可使坡面径流流速减弱, 增加了表层土壤氮素与地表径流的作用强度, 使溶解和解吸于单位径流中的矿质氮素含量增加, 但还是明显减少了总的矿质氮径流流失量。秸秆覆盖可显著减少肥料 N 的流失, 且覆盖量愈大, 施肥效果愈显著。施肥处理中, 500 g 秸秆覆盖和 250g 秸秆覆盖与裸地相比, 径流中矿质氮素分别减少  $134.3 \text{ mg/m}^2$  和  $90.7 \text{ mg/m}^2$ , 分别占肥料 N 的 0.9% 和 0.6%, 泥沙中矿质氮素分别减少  $4.08 \text{ mg/m}^2$  和  $3.94 \text{ mg/m}^2$ , 均占肥料 N 的 0.03%。同时秸秆覆盖可以显著地增加土壤水分和矿质氮素的入渗深度和入渗量。

#### 参考文献:

- [1] Waddell J T, Guptal S C, Moncrief J F, et al. Irrigation and nitrogen-management impacts on nitrate leaching under potato [J]. J. Environ. Qual., 2000, 29: 251- 261.
- [2] Catt J A, Howse K R, et al. Strategies to decrease nitrate leaching in the Brimstone Farm Experiment, Oxfordshire, UK, 1988- 1993: the effect of winter cover crops and unfertilised grass leys[J]. J. Environ. Plant and Soil, 1998, 203: 57- 69.
- [3] Ahuja L R, Sharpley A N, et al. The depth of rainfall-runoff-soil interactions as determined by  $^{32}\text{P}$ [J]. Water Resour. Res., 1981, 17: 967- 974.
- [4] Ahuja L R, et al. The extent and nature of rainfall-soil interaction in the release of soluble chemicals to runoff[J]. J. Environ. Qual., 1983, 12: 34- 40.
- [5] Rony Wallach, et al. Transfer of chemicals from soil solution to surface runoff: a diffusion-based soil model[J]. Soil Sci. Am. J., 1988, 52: 612- 628.
- [6] Bouraoui F, Dillaha T A. ANSWERS- 2000: Runoff and sediment transport model[J]. J. Envir. Engrg., ASCE, 1996, 122(6): 493- 502.
- [7] 张兴昌. 坡地土壤氮素与降雨、径流的相互作用机理及模型[J]. 地理科学进展, 2000, 6: 128- 133.
- [8] 王全九, 沈晋. 降雨条件下黄土坡面溶质随地表径流迁移试验研究[J]. 水土保持学报, 1993, 7(1): 11- 17.
- [9] 黄炎和, 卢程隆. 闽南次降雨量与土壤侵蚀量的关系研究[J]. 水土保持学报, 2002, 16(3): 76- 78.
- [10] 程先富, 史学正, 等. 丘陵山区林地土壤养分状况研究[J]. 水土保持学报, 2003, 17(2): 28- 32.
- [11] 符素华, 等. 北京山区次降雨侵蚀力[J]. 水土保持学报, 2002, 16(1): 37- 39.
- [12] 吴发启, 等. 坡耕地土壤结皮形成的影响因素分析[J]. 水土保持学报, 2002, 16(1): 33- 36.
- [13] 郑粉莉, 等. 林地开垦后坡面侵蚀过程与土壤养分流失的研究[J]. 水土保持学报, 2002, 16(1): 44- 46.
- [14] 何园球, 等. 红壤丘岗区人工林土壤水分、养分流失动态研究[J]. 水土保持学报, 2002, 16(4): 91- 93.
- [15] 李裕元, 邵明安, 等. 黄绵土坡耕地磷素迁移与土壤退化研究[J]. 水土保持学报, 2003, 17(4): 1- 7.
- [16] 马耀光, 等. 黄土层中灌溉对尿素淋失特征的影响[J]. 水土保持学报, 2003, 17(4): 113- 116.
- [17] 周涛, 等. 风沙土氮素运动及对麻黄生长的影响[J]. 水土保持学报, 2003, 17(4): 11- 14.
- [18] 张俊华, 等. 黄土高原植被恢复对土壤肥力质量的影响研究[J]. 水土保持学报, 2003, 17(4): 38- 41.
- [19] 黄满湘, 等. 农田暴雨径流侵蚀泥沙流失及其对氮磷的富集[J]. 水土保持学报, 2002, 16(4): 13- 16.
- [20] 马琨, 等. 不同雨强条件下红壤坡地养分流失特征研究[J]. 水土保持学报, 2002, 16(3): 16- 19.